

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx) der
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

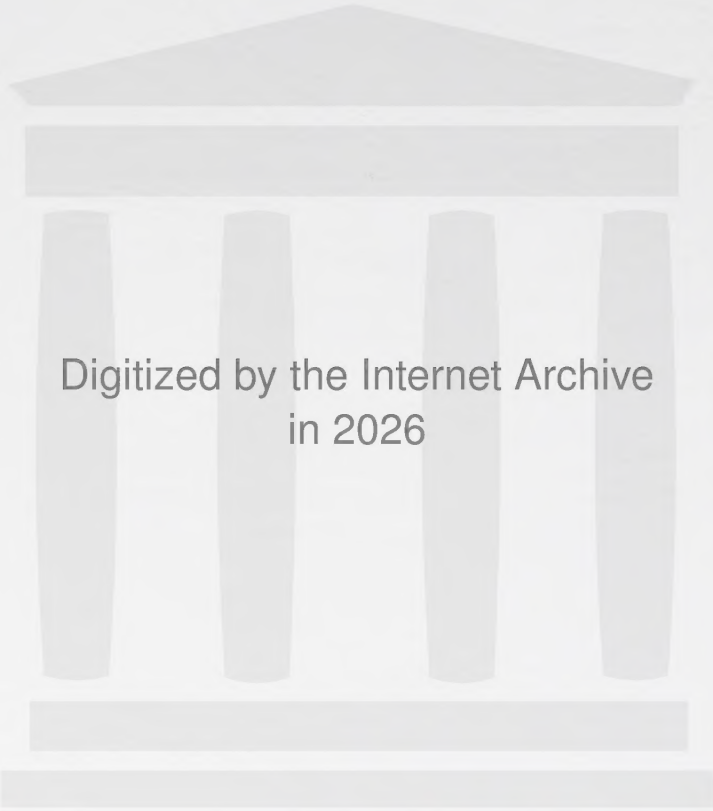
DER EINFLUSS DES GUSSKANALANSATZES AUF DEN HOHLRAUMBEFALL DES ZAHNÄRZTLICHEN GUSSES

INAUGURALDISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, den
Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

DIETER BECK
aus Sandhorst

Mainz
1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554426_0068

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Vorsteher: Prof. Dr. H. Marx) der
Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

DER EINFLUSS DES GUSSKANALANSATZES AUF DEN HOHLRAUMBEFALL DES ZAHNÄRZTLICHEN GUSSES

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, den
Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

DIETER BECK

aus Sandhorst

Mainz

1974



Dekan: Prof. Dr. Dr. W. Ketterl

Referent: Prof. Dr. H. Marx

Koreferent: Prof. Dr. K. Fuhr

INHALT

	Seite
A. EINLEITUNG	1
B. DIE ENTSTEHUNG VON HOHLRÄUMEN	2
1. Gasblasen	
2. Lunker	
C. DIE GUSSKANALFORM	7
D. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	9
1. Die Wahl des Prüfkörpers	
2. Die Herstellung der Gußkanäle	
3. Einbetten und Gießen	
E. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE	14
F. STATISTISCHE METHODE	16
G. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER LUNKERAUSZÄHLUNG	18
H. DISKUSSION	23
I. ZUSAMMENFASSUNG	25
J. SCHRIFTTUM	26

A. EINLEITUNG

Eines der Grundprobleme beim zahnärztlichen Guß ist das Auftreten von Hohlräumen im Gußobjekt. Trotz zahlreicher Hinweise ist es noch nicht gelungen, eine zuverlässige Methode zu entwickeln, um Hohlräume zu eliminieren, d.h. den Guß annähernd dicht zu speisen (13). Auch in der Industrie ist die Ausschußquote noch recht hoch, was die Zahlen von KNIPP (10) ausdrücken: "Beim Guß in die ruhende Form liegt das Ausbringen an gutem Guß bei Verwendung von Schwerkrafttrichtern (zum Nachspeisen) bei 40% - 60%, beim Schleudern des Gusses bei 65% - 85%". Auch beim zahnärztlichen Gußverfahren scheinen alle bekannten Maßnahmen nicht auszureichen, um mit Sicherheit Lunkerfreiheit zu erreichen (13, 20).

Die Vermeidung von Hohlräumen ist nicht nur an der Oberfläche erstrebenswert. Bei prothetischen Metallarbeiten, die großen Belastungen ausgesetzt sind, wirken sich Porositäten im Inneren des Gußobjektes besonders negativ auf die Festigkeit aus. Bei Hohlräumen an der Oberfläche eines Gußobjektes ist das Problem mehr hygienischer Natur, was sich in mangelhafter Mundbeständigkeit und Farbveränderung der Arbeit ausdrückt (23). In dieser Abhandlung soll versucht werden zu zeigen, inwieweit sich die Form des Gußkanals auf die Zahl der Hohlräume und ihre Lokalisation auswirkt.

B. DIE ENTSTEHUNG VON HOHLRÄUMEN

Bei Hohlräumen kann man zwischen Gasblasen und Lunkern differenzieren (26). Allgemein wird davon ausgegangen, daß Gasblasen glattwandig strukturiert sind, während Lunker mehr gezackte und sich verzweigende Form aufweisen. Zu diesem Problem schreibt BARTELS (1) folgendes: "Am geätzten Metallschliff kann man erkennen, daß Mikrolunker zwischen den Dendritenstrukturen liegen. Es liegt auf der Hand, daß auch die im flüssigen Metall gelösten Gase, die sich beim Erstarrungsvorgang ausscheiden, an der Bildung dieser interkristallinen Hohlräume beteiligt sind. Sie können einen Kapillarschwindungshohlraum verstopfen und verhindern, daß dieser durch Kapillarwirkung mit flüssiger Schmelze aufgefüllt werden kann. Sie können aber auch als Gasbläschen auftreten, von denen die Lunkerung ihren Ausgang nimmt, indem das Metall sich von diesem vorhandenen Hohlraum wegtrahiert. Man kann also nicht in jedem Fall von vorneherein Lunker und Gashohlräume durch ihre Form unterscheiden."

1. Gasblasen

Die Entstehung von Gaseinschlüssen kann verschiedene Ursachen haben.

Die sogenannte "backpressure porosity" tritt besonders dann auf, wenn die in die Gußform einströmende Metallschmelze das dort befindliche Gas nicht schnell genug verdrängen kann. Als Folge können Gaseinschlüsse im Gußobjekt auftreten. Verschiedene Anregungen zur Unterdrückung dieser speziellen Hohlraumart sind gegeben worden. So empfehlen STRICKLAND und STURDEVANT (18) Rotationsgußgeräte maximal aufzuziehen, um die Schmelze mit höchstmöglicher Geschwindigkeit einschließen zu lassen, was auch PHILLIPS (15) vorschlägt. Einen günstigen Einfluß kann man mit Lüftungskanälen (Steigern) und mit Asbest

ausgekleideten Muffeln erzielen (2,6,8). Das Gußobjekt soll so in der Muffel platziert werden, daß es nicht mehr als 0,25 inch vom Muffelboden entfernt ist (18). Eine weitere Verbesserung läßt sich durch eine Einbettmasse erzielen, welche einen großen Luftdurchsatz zuläßt, was aber mit einer größeren Oberfläche erkauft werden muß.

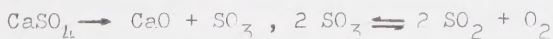
Beim Schmelzen von Dentallegierungen mit offener Flamme ist eine Gasaufnahme der Legierung schwer zu vermeiden. Zum einen ist es schwierig, eine Flamme so einzustellen, daß das Gasgemisch restlos verbrennt, zum anderen ist ein Überhitzen der Schmelze und eine daraus resultierende Gasaufnahme fast unvermeidbar.

Auf der anderen Seite fördert das Überhitzen jedoch das leichtere und schnellere Speisen der Form, begünstigt durch die geringere Viskosität der Metallschmelze.

Vermeiden läßt sich dieses Problem durch indirekte Schmelzeinrichtungen und Erhitzen des Metalls im reduzierenden Milieu.

Zur Schonung der Legierung ist außerdem ein schnelles Aufheizen wünschenswert. Auch wäre an einen Schmelzvorgang im Vakuum zu denken, was eine Gasaufnahme ausschließen würde.

Nach BARTELS (1) können Gase auch aus der Einbettmasse stammen, z.B. durch den Zerfall von Gips unter Witzeeinwirkung:



Aber auch die in der porösen Einbettmasse enthaltene Luft kann vom schnellströmenden Metall nach Art einer Wasserstrahlpumpe angesaugt werden, bei z.B. düsenartig verengtem Querschnitt des Zuströmungskanals (19). Auch oben angeführte Probleme lassen sich durch Evakuieren der Muffel lösen.

DESSNER (5) konnte demonstrieren, daß flüssige Metalle als geschlossener Strahl in die Form fließen und beim Ablösen von Kanten (z.B. düsenartig verengter Querschnitt des Gußkanals), sowie beim Aufprall auf Flächen unter stumpfem Winkel starke Wirbel bilden.

Demnach ist auch an eine Wirbelbildung der Schmelze beim Verlassen des Schmelz- oder Kohletiegels zu denken (Strömungsabriß des flüssigen Metalls beim Verlassen des Tiegels). STRAUSS (17) kommt zu dem Schluß, daß in einem Kanal von 3 mm Durchmesser ein turbulenter Strom die Regel sein dürfte. KYSELOVA, KYSELA und MARES (11) geben einen seitlich am verlorenen Kopf angesetzten Gußkanal an, der durch seine syphonartige Wirkung zu einer ruhigeren Füllung der Form beitragen soll (Abb. 1). Auch eine Füllung der Form von unten dürfte einer günstigeren Strömung dienlich sein. Über mitgerissene Gase beim zahnärztlichen Guß berichtet auch VOSS (23).

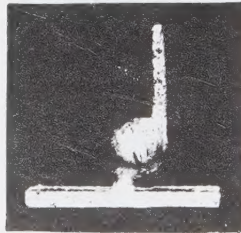


Abb. 1 Empfehlung zur Gestaltung des Gußkanals zur Verhinderung von Gußdefekten (nach KYSELOVA, KYSELA und MARES).

2. Lunker

Lunker sind Hohlräume, die ihre Entstehung unvermeidbaren physikalischen Vorgängen beim Abkühlen von Metallschmelzen auf Raumtemperatur verdanken (20,24). Drei Phasen der Volumenminderung sind nach WEIKART (26) zu nennen:

- a) Beim Abkühlen der Schmelze bis zur Liquidustemperatur.
- b) Beim Übergang der Schmelze vom flüssigheißen zum festheißen Zustand, bei Legierungen von der Liquidustemperatur zur Solidustemperatur.
- c) Beim Abkühlen von der Erstarrungstemperatur auf Zimmertemperatur, also vom festheißen zum festkalten Zustand.

Die Volumendifferenz von Metallschmelze und festkaltem Metall resultiert aus der verschiedenen dichten Packung der Atome im Kristallgitter.

Diese Tatsachen führen dazu, daß man die Lunkerbildung außerhalb des zur Verwendung gebrauchten Gußobjektes zu verlegen suchte. Aus der Gießereiindustrie wurde das Verfahren des "verlorenen Kopfes" übernommen. Unmittelbar (0,5 mm) über dem Gußobjekt wird der Gußkanal kugelförmig ausgebuchtet. Die Ausbuchtung, also der verlorene Kopf, dient als Schmelzreservoir, welches dem gerade erstarrenden Objekt noch flüssiges Metall nachspeisen kann. Lunker sollen also jetzt im verlorenen Kopf auftreten, welcher später vom eigentlichen Gußobjekt abgetrennt wird. Zur Position des verlorenen Kopfes in der Muffel ist noch folgendes nachzutragen. Um zu gewährleisten, daß die Metallschmelze im verlorenen Kopf möglichst lange flüssig bleibt, muß man eine zweckmäßige Lage in der Muffel wählen. Der verlorene Kopf muß also im wärmsten Bereich der Muffel liegen (Wärmezentrum). Zur Größe des Reservoirs im Verhältnis zum Gußobjekt ist folgendes zu sagen.

Nach LOEBICH (12) beträgt die totale Volumenschwindung 5 %. Theoretisch müßte also ein verllorener Kopf von $1/20$ des Volumens des Gußobjektes ausreichen. Die Versuche von LOEBICH (12) zeigen aber, daß ausreichende Lunkerfreiheit erst mit einem Reservoir von 25 % des Gußobjektes erreicht werden kann. Außerdem fordert LOEBICH (12) Halsdurchmesser (Verbindung des verlorenen Kopfes zum Gußobjekt) von 2 mm. KNAPPWOST (9) hat darauf hingewiesen, daß ein Reservoir nur dann Lunker vom Gußobjekt fernhalten kann, wenn seine spezifische Oberfläche kleiner ist als diejenige des Gußstückes. Die spezifische Oberfläche errechnet sich aus dem Quotienten der Oberfläche des Körpers und seinem Gewicht. Da ein Körper mit einer zu seinem Gewicht relativ großen Oberfläche schneller Wärme abgibt als z. B. der Idealfall einer Kugel (kleinste spezifische Oberfläche), ist die Dimensionierung des Reservoirs zu beachten. Die Ausführungen verdeutlichen, daß nach den Kriterien von KNAPPWOST (9) und LOEBICH (12) der verlorene Kopf

durch geringere Wärmeabgabe länger im flüssigen Zustand verweilt und so das Gußobjekt dichtspeisen kann. Beim Fall eines massiven Brückenwischengliedes versagt nach LOEWICH (12) jedoch die 25% - Regel.

Ein nach der KNAFFWOST'schen (9) Rechnung bemessener verlorenen Kopf ist hier der Richtige. Die Methode des verlorenen Kopfes nennt man auch eine gerichtete Erstarrung, d.h. die Erstarrungsrichtung ist nicht zufällig, sondern durch entsprechende Gestaltung des Reservoirs gesteuert. Nach WETTERSTROM (21) läßt sich eine gerichtete Erstarrung auch durch entsprechend groß dimensionierte Gußkanäle erreichen. Die Gußkanäle haben einen Durchmesser von 3,7 mm und der Verteilerquerkanal von 4,7 mm (Abb. 2).



Abb. 2: Verteilerkopf mit gerichteter Erstarrung nach Wetterstrom

C. DIE GUßKANALFORM

Die Form des Gußkanals ist ein entscheidender Faktor beim dentalen Guß. Dies belegen die zahlreichen Hinweise in der Literatur. Sowohl der Winkel des Kanals am Gußobjekt, als auch Durchmesser und Länge haben Auswirkungen auf die Qualität des Gusses (3,4,21,22). Zum Anbringen des Gußkanals ist zu sagen, daß eine hydrodynamisch günstige Form zu wählen ist, die in Einklang mit einer gerichteten Erstarrung stehen soll. Konkret bedeutet dies, daß die Schmelze vom dickeren zum dünneren Abschnitt des Gußkörpers fließen sollte, da ja die dünneren Teile die spezifisch größere Oberfläche haben und somit schneller Wärme abgeben als die dickeren Teile (24).

Zur Gußkanalstärke gibt WAGNER (24) die in Tab. 1 aufgeführten Werte an.

Tab. 1 Mindestdurchmesser des Kanals bzw. verlorenen Kopfes für verschiedene Gußstücke (nach WAGNER)

Gußobjekt	Durchmesser des verlorenen Kopfes in mm	Durchmesser des Gußkanals in mm
Zentrales Inlay	3	etwa 2
MOD - Inlay	etwa 3,5	2
Gußkrone	etwa 4	2,5
Massives Brücken-zwischenglied	5	3,5

Große Richtungsänderungen beim Einfließen der Schmelze in die Form sollten vermieden werden. Außerdem ist darauf zu achten, daß der Strahl der einschießenden Metallschmelze keine scharfen Kanten der Einbettmasse trifft, die dann abreißen könnten und so Einschlüsse bilden würden, die das Gußobjekt schwächen.

Der Durchmesser des Gußkanals gewährleistet einen mehr oder minder großen Durchsatz an Schmelze pro Zeiteinheit. MEYERS (14) fand bei Verwendung eines Druckgußgerätes eine direkte Abhängigkeit der Gießzeit vom Querschnitt des Kanals oder der Kanäle. Die Gußkanallänge hatte keinen Einfluß auf die Gießzeit.

Bemerkenswert ist, daß nach RYGE, KOZAK und FAIRHURST (16) der Gußkanaldurchmesser größer sein muß, als der größte Querschnitt des Gußobjektes, um lokalisierte Schwindungshohlräume zu eliminieren. Sie geben eine Übersicht der Effekte von verschiedenen Faktoren der Gußkanalgestaltung (Tab. 2).

Tab. 2 Effekte von verschiedenen Faktoren der Gußkanalgestaltung (nach RYGE, KOZAK und FAIRHURST)

Typ der Porosität	Größerer Gußkanaldurchmesser	Längerer Gußkanal
Lokalisierte Schrumpfungsporosität	vermindert	erhöht
Verteilte Porosität	erhöht	vermindert
Intermetallische Porosität	kein Effekt	kein Effekt

D. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Bei den Versuchen kamen 7 verschiedene Gußkanalformen bzw. seine Ansätze zur Anwendung. Es sollte versucht werden zu zeigen, ob dabei Unterschiede in Bezug auf den Lunkerbefall und die Lokalisation der Lunker auftraten. Je Gußkanalansatz wurden 15 Güsse hergestellt (Abb. 3).

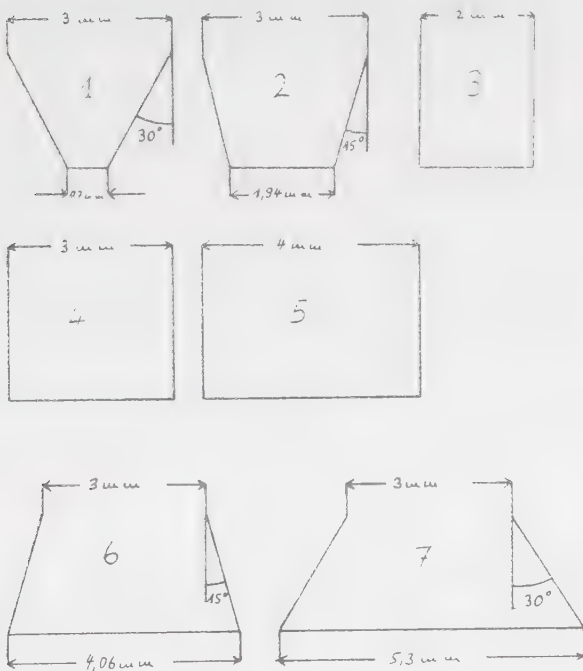


Abb. 3 Gußkanalansätze 1 - 7 (Maßstab 10:1)

1. Die Wahl des Prüfkörpers

Um ein Brückenwischenglied nachzuahmen, also einen Körper mit spezifisch kleiner Oberfläche, kam eine geometrische Form in Gestalt eines Kegelstumpfes zum Versuch (Abb. 4).

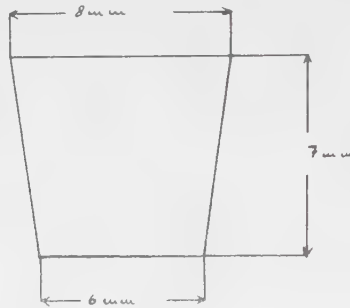


Abb. 4 Gußobjekt (Maßstab 5:1)

Diese geometrische Form gestattete eine ausreichend exakte Modellherstellung. Als Matrize diente eine polierte Stahlform, die mit Prepon-Wachs (grün) beschickt wurde. Mittels Schablone wurden die verschiedenen Gußstifte im Winkel von 90° in der Mitte der größeren Kegelstumpfgrundfläche angewachst und mit dem Wachsmodell aus der Stahlform herausgezogen.

2. Die Herstellung der Gußkanäle

Die zylindrischen und düsenartig verengten Gußstifte waren aus Stahl gefertigt und auf Hochglanz poliert. Um die sich erweiternden Gußkanäle wieder aus der erstarrten Einbettmasse entfernen zu können, wurde der Teil mit größerem Durchmesser aus Palavit-G (rot) hergestellt. Durch Aufsetzen einer Stahlform auf den Gußstift Typ 2 wurde das Palavit-G (rot) direkt am Gußstift angegossen (Abb. 5).

Zum Einbetten verwendeten wir Durotherm-Einbettmasse, welche nach vorgeschriebenem Verhältnis von Masse zu Wasser bei gleichzeitiger Evakuierung 30 Sekunden lang angerührt und dann in den Gußring eingerüttelt wurde.

Um auch ein schonendes Ausfließen der Gußringe mit Palavit-Teil am Gußstift zu gewährleisten, wurden sämtliche Muffeln zuerst für 30 Minuten bei 300°C und dann für weitere 30 Minuten bei 450°C belassen. Die Vorwärmtemperatur betrug 750°C über einen Zeitraum von 45 Minuten. Als Gußgerät kam eine elektrisch beheizte Kohletiegelschleuder (Degussa) zur Verwendung. Es wurde mit einem Goldüberschuß von 4 g gegossen. Das Gußobjekt selbst wog ebenfalls 4 g. Das Gußmaterial bestand aus Degulor M^+ , welches einen Schmelzintervall von $900^{\circ} - 970^{\circ}\text{C}$ hat. Die Kohletiegelschleuder wurde vor jedem Guß 3 mal aufgezogen. Nach Stillstand der Schleuder wurden die Gußmuffeln mit dem Gußtrichter nach oben zeigend auf einer Steinplatte abgestellt und nach Erreichen von Raumtemperatur ausgebettet und gereinigt.

4. Die Herstellung der Schliffe

Um unerwünschte Hitzeentwicklung beim Abtrennen des Gußkanals und Durchtrennen der Gußobjekte, die ein Zuschmieren von Porositäten zur Folge haben könnte, zu vermeiden, kam nur eine Handsäge in Betracht. Die Proben wurden in eine speziell dafür hergestellten Sägevorrichtung aus gehärtetem Stahl eingespannt und mit einer Handsäge durchgetrennt. Das Sägeblatt war geschränkt und hatte eine Stärke von 0,65 mm. Vor dem Durchtrennen wurde der Gußstift vom eigentlichen Gußobjekt abgesägt. Die Schnittebene zeigt Abb. 7.

+ Das Gold wurde freundlicherweise von der Firma Degussa zur Verfügung gestellt.

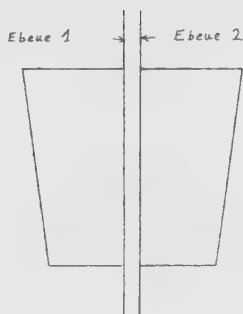


Abb. 7 Gußobjekt mit Sägespalt (Maßstab 5:1)

Danach wurden jeweils beide Hälften der Prüfkörper in Technovit eingebettet. So konnten sie auf waagrecht rotierenden Scheiben, die mit Silizium-Karbidpapier belegt waren, geschliffen werden. Nacheinander wurden die Proben mit den Körnungen Nr. 180, 320, 400, 600 geschliffen. Die Schleifrichtung lag bei jeder Körnung um 90° gedreht von der vorherigen. Als Vorpoliermittel diente aufgeschlämmte Tonerde in verschiedenen Verdünnungen. Die endgültige Politur wurde auf Wolltüchern erreicht.

E. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

Sämtliche 105 Formen flossen vollständig aus. Beim Ausbetten der Serie 1 brachen zum Teil die Gußkanäle vom Gußobjekt ab. Die Gußobjekte hatten an der Bruchstelle ein schwammiges Aussehen, welches sich auch keilförmig in das Gußobjekt fortsetzte. Alle anderen Serien zeigten an der Trennfläche von Gußobjekt und Gußstift Metallglanz. Oberflächenlunker zeigten sich vornehmlich bei den Serien 1 - 3. Lokalisiert waren sie im Bereich des Gußstiftansatzes. Augenscheinlich war die konkav geformte große Grundfläche des Kegelstumpfes aus den Serien 1 - 4. Bei den Serien 5 - 7 war die Konkavität nur angedeutet. Bei allen anderen Flächen des Objektes war keine solche Veränderung festzustellen. Beim Zurücksetzen der Proben in die Stahlform, welche zur Herstellung der Wachsmodele diente, zeigte sich bei den Serien 1 - 3 ein deutlicher Spalt, der bei den restlichen Serien weniger ausgeprägt war.

Zur Zählung der Porositäten stand ein Stereomikroskop (Zeiss), ausgerüstet mit Epileuchte und kleinem Tischstativ, zur Verfügung. Gewählt wurde eine Vergrößerung von 6,3 mal (Objektiv 0,63 mal, Okular 10 mal). Eine Differenzierung der Hohlraumarten wurde nicht vorgenommen. Zur Orientierung wurde ein Rasterokular verwendet, welches eine Unterscheidung verschiedener Zählbereiche zuließ. In Verlängerung der Gußstiftachse trafen das Objekt 9 Bereiche, letzterer nur teilweise (Abb. 8). Zur statistischen Auswertung kamen 8 Bereiche. Pro Objekt wurden die Ebenen 1 und 2 ausgewertet. Bei allen Serien waren die Lunker hauptsächlich zu beiden Seiten des Gußkanalanansatzes anzutreffen, was auch FUCHS (7) feststellte. Bereits im Bereich 3 fällt die Zahl der Lunker gegenüber Bereich 1 und 2 stark ab. Größere Porositäten waren fast ausschließlich in den Bereichen 1 - 3 zu finden. Da durch die

Wahl der Vergrößerung das Auflösungsvermögen begrenzt war, kamen vorzugsweise größere Hohlräume (größer als 0,1 mm) zur Auszählung. Bei 30-facher Vergrößerung waren auch noch zahlreiche kleinere Porositäten in allen Bereichen zu erkennen.

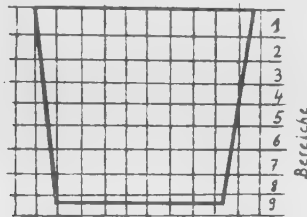


Abb. 8 Rasterokular und abgebildetes Objekt

F. STATISTISCHE METHODE

Ziel der statistischen Auswertung war es, die aus der Zählung der Lunker errechneten Mittelwerte in Zusammenhang mit den gefundenen Streuungen zu prüfen. Die Ergebnisse der einzelnen Auszählungsbereiche wurden einer dreifachen hierarchischen Varianzanalyse unterzogen.

Aus der Gesamtstreuung der Meßergebnisse eliminiert die Varianzanalyse die Streuung einzelner Faktoren und deren Wechselwirkung und begutachtet diese unabhängig voneinander.

Die erste Spalte in der Varianzanalysetabelle gibt diese Faktoren und Wechselwirkungen wieder (Tab. 3).

Die Summe der Abweichungsquadrate (SAQ) beinhalten die entsprechenden Anteile der Gesamtstreuung. Der Quotient aus SAQ und den sogenannten Freiheitsgraden (FG) führt zu den mittleren Abweichungsquadraten (MAQ), die das eigentliche Streuungsmaß darstellen. Der F-Test prüft, ob dieser Streuungsanteil bedeutend höher ist, als es nach der Versuchsstreuung zu erwarten wäre. Die Beurteilung der errechneten F-Werte erfolgt nach einer entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit "p" durch Vergleich mit den tabulierten Werten der F-Verteilung.

Ein signifikantes Ergebnis liegt vor, wenn der berechnete Wert größer als der Tabellen F-Wert für $p = 0,01$ ist.

Die Vermutung, daß zwischen den einzelnen Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung keine größere Differenz besteht, kann nicht aufrecht erhalten werden. Eine kleine Überschreitung des Tabellenwertes für $p = 0,05$ bedeutet ein statistisch auffälliges Ergebnis.

Hat der F-Wert ergeben, daß zwischen bestimmten Mittelwerten signifikante Unterschiede bestehen, so gilt diese Aussage zusammenfassend für alle diese Mittelwerte. Es kann aber nicht ohne weiteres gefolgert werden, daß zwei bestimmte Mittelwerte sich unterscheiden. Sollen bestimmte Mittelwertsdifferenzen beurteilt werden, so kann das mit Hilfe von Konfidenzintervallen geschehen. Die hierzu verwendeten Konfidenzintervalle von Tukey haben folgende Form:

$$\hat{L} - \sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} \cdot q_{1-p/k/f} \leq L \leq \hat{L} + \sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} \cdot q_{1-p/k/f}$$

$\hat{L}$ der zu beurteilende Mittelwertskontrast der Stichprobe
 L der entsprechende Kontrast der Grundgesamtheit
 Varianz des Kontrastes

$\frac{MAQ_N}{r}$ = Varianz des Kontrastes

MAQ_N ist das aus der Varianzanalysentabelle entnommene MAQ für den Nenner im F-Test

r ist die Anzahl der jedem Mittelwert zugrunde liegenden Einzelmessungen

$q_{1-p/k/f}$ obere Signifikanzschranke des studentisierten Extrembereiches

$1-p$ Sicherheitswahrscheinlichkeit

k Anzahl der Mittelwerte

f Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_N

Eine Mittelwertsdifferenz $\hat{L}$ ist dann von 0 signifikant verschieden, wenn sie größer ist als der Ausdruck:

$\sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} \cdot q_{1-p/k/f}$, den wir unter den einzelnen Abschnitten der Tab. 5 als "kritischen Wert" angeben.

Eine ausführliche Darstellung der Technik der Varianzanalyse sowie des Tukey-Testes ist bei WEBER (25) zu finden.

G. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER LUNKERAUSZÄHLUNG

Aus der Varianzanalysentabelle (Tab. 3) geht hervor, daß bei dem Faktor "Ansatz" , ersichtlich in der ersten Zeile, statistisch signifikante Unterschiede auftraten. Dies gilt lediglich für die Bereiche 1 - 3.

Auch die einzelnen Objekte unterscheiden sich in Bereich 1 und 2 statistisch signifikant voneinander. Das bedeutet, daß beim Herstellen der Güsse Ungenauigkeiten auftraten, die außerhalb des statistischen Zufallbereiches lagen. Die Fehlerquellen des Gußverfahrens sind offenbar so groß, daß eine beträchtliche Streuung zwischen den Gußobjekten desselben Ansatzes auftritt. Wie aus Zeile 3 der Varianzanalysentabelle ersichtlich, treten bei den zueinander gehörenden Hälften der Gußobjekte, hier als Schnittfläche bezeichnet, keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. Wie oben angeführt, wurde von den Mittelwerten der Lunkerzahlen ausgegangen. Zur praktischen Durchführung des Tukey-Testes wurden die Mittelwerte für Ansatz und Bereich errechnet und nach Größe und Bereich geordnet (Tab. 4).

Tab. 3 Varianzanalysentabelle

Beurteilung:

+ auffällig ($p=0,05$)

++ signifikant ($p=0,01$)

Bereich der Aus- zählung	Zeile	Faktoren und Wechsel- wirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert
1	1	Ansatz	64929,55	6	10821,58	28,23 ++
	2	Objekt	12244,53	14	874,60	4,19 ++
	3	Schnittfläche	3121,20	15	208,07	0,53
	4	Ans./Objekt	44656,71	84	531,63	1,39
	5	Rest	34482,27	90	383,14	
2	1	Ansatz	7197,58	6	1199,60	31,27 ++
	2	Objekt	988,07	14	70,58	4,05 ++
	3	Schnittfläche	261,49	15	17,42	0,44
	4	Ans./Objekt	4766,27	84	56,73	1,48 +
	5	Rest	3453,00	90	38,37	
3	1	Ansatz	48,27	6	8,03	3,07 ++
	2	Objekt	60,97	14	4,34	2,54 +
	3	Schnittfläche	25,56	15	1,69	0,64
	4	Ans./Objekt	329,02	84	3,92	1,94 +
	5	Rest	234,43	90	2,59	
4	1	Ansatz	31,03	6	5,16	1,75
	2	Objekt	29,27	14	2,08	0,55
	3	Schnittfläche	55,86	15	3,71	1,26
	4	Ans./Objekt	283,39	84	3,36	1,13
	5	Rest	266,13	90	2,96	

Tab. 3 Varianzanalysentabelle (Fortsetzung)

Bereich der Aus- zählung	Zeile	Faktoren und Wechsel- wirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert
5	1	Ansatz	46,11	6	7,69	2,35 +
	2	Objekt	48,19	14	3,43	1,44
	3	Schnittfläche	35,93	15	2,38	0,33
	4	Ans./Objekt	244,58	84	2,90	1,07
	5	Rest	241,56	90	2,67	
6	1	Ansatz	23,91	6	3,99	2,26 +
	2	Objekt	40,70	14	2,89	1,30
	3	Schnittfläche	33,27	15	2,22	1,27
	4	Ans./Objekt	145,22	34	1,73	0,30
	5	Rest	156,70	90	1,74	
7	1	Ansatz	22,98	6	3,82	2,76 +
	2	Objekt	13,84	14	0,99	0,60
	3	Schnittfläche	21,56	15	1,44	1,03
	4	Ans./Objekt	94,28	84	1,11	0,30
	5	Rest	124,43	90	1,37	
	1	Ansatz	6,95	6	1,15	1,64
	2	Objekt	33,51	14	2,38	3,62 ++
	3	Schnittfläche	9,93	15	0,65	0,62
	4	Ans./Objekt	126,61	84	1,51	0,35
	5	Rest	163,57	90	1,82	

Zur Klärung der Mittelwertsunterschiede wurden zunächst für alle untersuchten Bereiche diese Ausdrücke berechnet. Zur übersichtlichen Darstellung wurden alle möglichen Mittelwertsdifferenzen in Form einer Vergleichsmatrix angeordnet (Tab. 5). Da darin die Mittelwertsdifferenzen nach Größe geordnet sind, kann man durch Einzeichnen einer Trennlinie signifikante Mittelwertsdifferenzen (oberhalb) von solchen trennen, die im Zufallsbereich liegen (unterhalb), (Tab. 5).

Tab. 4 Mittelwerte nach Bereich und Größe geordnet

Bereich							
1		2		3		4	
Ans.	Mittelwert	Ans.	Mittelwert	Ans.	Mittelwert	Ans.	Mittelwert
1	61,12	3	20,22	1	2,22	1	1,82
3	55,77	1	4,49	4	1,27	4	1,12
4	36,77	2	4,12	3	1,09	2	1,09
2	29,00	4	3,37	2	0,89	7	1,00
7	20,00	6	3,22	7	0,89	3	0,89
6	19,22	5	3,17	6	0,79	5	0,72
5	11,39	7	3,00	5	0,72	6	0,47

Bereich							
5		6		7		8	
Ans.	Mittelwert	Ans.	Mittelwert	Ans.	Mittelwert	Ans.	Mittelwert
1	1,87	1	1,27	1	1,17	6	0,79
4	1,09	7	0,97	4	0,97	1	0,72
7	0,89	2	0,89	3	0,59	2	0,67
2	0,59	3	0,67	2	0,47	7	0,67
5	0,57	4	0,62	7	0,32	4	0,57
3	0,49	5	0,37	5	0,29	3	0,52
6	0,42	6	0,19	6	0,22	5	0,19

Tab. 5 Vergleichsmatrizen für die Bereiche 1 - 3

Bereich 1

Ansatz	3	4	2	7	6	5
1	5,36666	24,36666	32,13333	41,13333	41,90000	49,73333
3		19,00000	25,76667	26,76667	36,53334	44,36667
4			7,76666	16,76667	17,53334	25,36667
2	"Kritischer Wert": 18,2			9,00000	9,76667	17,60000
7					1,76667	8,60000
6						7,83333

Bereich 2

Ansatz	1	2	4	6	5	7
3	15,73333	16,10000	16,86666	17,00000	17,06666	17,23333
1		0,36667	1,13333	1,26667	1,33333	1,50000
2			0,76666	0,90000	0,96666	1,13333
4	"Kritischer Wert": 5,2			0,13334	0,20000	0,36667
6					0,06666	0,23333
5						0,16667

Bereich 3

Ansatz	4	3	2	7	6	5
1	0,96666	1,13333	1,33333	1,33333	1,43333	1,50000
4		0,16667	0,36667	0,36667	0,46667	0,53334
3			0,20000	0,20000	0,30000	0,36667
2	"Kritischer Wert": 1,5			0,00000	0,10000	0,16667
7					0,10000	0,16667
6						0,06667

H. DISKUSSION

Aus der Vergleichsmatrix für den Bereich 1 der Auszählung (S. 22) geht hervor, daß sich der Ansatz 1 statistisch signifikant von den Ansätzen 2, 4, 5, 6 und 7 unterscheidet. In der Qualität hinsichtlich der Lunkerzahl ist also der Ansatz 1 schlechter zu bewerten als die Ansätze 2, 4, 5, 6 und 7. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit den Vorschlägen von LOEBICH (12), der beim Guß mit verlorenem Kopf einen Verbindungskanal von 2 mm Durchmesser zum Gußobjekt vorschreibt. Wenn man davon ausgeht, daß ein sich verjüngender Kanal ähnliche Reservoirwirkung wie ein verllorener Kopf zeigt, unterscheidet sich der kleinste Durchmesser des Gußkanals 1 beträchtlich von LOEBICH's Vorschlag. Die Enge im Zuführungskanal dürfte hier eine vorzeitige Erstarrung begünstigt und eine Dichtspeisung verhindert haben. Der Ansatz 3 zeigt statistisch signifikante Unterschiede gegenüber den Ansätzen 2, 4, 5, 6 und 7. Der Ansatz 4 unterscheidet sich lediglich von Ansatz 5. Die Hypothese, daß die sich am Ansatz verjüngenden Gußkanäle als Reservoir fungieren und somit besser zu bewerten sind, bestätigte sich für Bereich 1 nicht. Im Bereich 2 unterscheidet sich der Ansatz 3 statistisch signifikant von den Ansätzen 1, 2, 4, 5, 6 und 7. Im Gegensatz zu Bereich 1 schnitt Ansatz 3 schlechter ab als Ansatz 1. Eine günstige Reservoirwirkung zu Gunsten des Ansatzes 1 kann nicht ohne weiteres angenommen werden, da sich beide Gußkanäle beträchtlich im Durchmesser unterscheiden. DYGATZ (6) schreibt, daß bei der Kohletiegel-schleuder (Degussa) der Gußkanaldurchmesser bei Verwendung von Luftabzugskanälen nicht so von Wichtigkeit zu sein scheint. Im Bereich 1 unterscheidet sich der Ansatz 4 statistisch signifikant vom Ansatz 5. Auch bei DYGATZ (6) war die Streuung zwischen den einzelnen Gußkanaldurchmessern ohne Luftabzugskanälen größer. Ansatz 5 zeigte bessere

Qualität hinsichtlich des Lunkerbefalls als Ansatz 4. Das gute Abschneiden der Ansätze 6 und 7 wird möglicherweise verursacht durch den sich erweiternden Ansatz, der eine günstigere Strömung der Schmelze erzeugt und durch seinen größeren Ansatz direkt am Gußobjekt eine Verlagerung der Lunkerbildung in den erweiterten Abschnitt des Gußkanals bewirkt. Im Bereich 3 unterscheidet sich der Ansatz 1 statistisch signifikant von Ansatz 5. Abschließend kann gesagt werden, daß ein Gußkanal von 4 mm Durchmesser bei voluminösen Gußobjekten Vorteile gegenüber dünneren Gußkanälen hat. Günstige Auswirkungen scheinen auch die Gußkanäle mit sich erweiterndem Ansatz zu zeigen.

I. ZUSAMMENFASSUNG

Sieben verschieden dimensionierte Gußstiftansätze wurden unter sonst gleichen Bedingungen auf ihren Lunkerbefall geprüft. Zur Auszählung kamen die in einem Prüfkörper von der Form eines Kegelstumpfes mit der Höhe von 7 mm und den Durchmessern der Grundflächen von 6 mm und 8 mm auftretenden Lunker im Größenbereich von 0,1 mm und darüber. Bei der Auszählung der Lunker wurde zwischen bestimmten Bereichen auf der Schlißfläche unterschieden. Signifikante Ergebnisse traten in den Bereichen auf, die unmittelbar dem Gußstiftansatz benachbart lagen. Eindeutige Unterschiede zeigten sich zwischen den Gußstiften mit sich verjüngendem Ansatz und denen mit sich erweiterndem Ansatz. Bei den Gußstiften mit sich verjüngendem Ansatz traten eine größere Anzahl von Porositäten auf, als bei denen mit sich erweiterndem Ansatz. Qualitativ sind also letztere zu bevorzugen. Bei den zylindrischen Ansätzen schnitten jene mit dem größeren Durchmesser besser ab.

J. SCHRIFTTUM

1. Bartels, F. J. : Der Einfluß der Form der Gußkanäle auf die Verteilung der Porositäten in zahnärztlichen Gußobjekten. Med. Diss., Erlangen 1969
2. Bonsack, Ch. : Der heutige Stand des Gußproblems. Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 67 (1953)
3. Degussa : Das Anbringen von Gußkanälen. I. Teil. Degussa-Brief (Neue Folge), Nr. 23 (1955)
4. Degussa : Das Anbringen von Gußkanälen. II. Teil. Degussa-Brief (Neue Folge), Nr. 24 (1956)
5. Dressner, J. : Studien über Strömungsvorgänge in der Muffel beim zahnärztlichen Gußverfahren. Med. Diss., Erlangen 1949
6. Dygatz, P. : Über den Einfluß der Einbettmassen, der Gußkanalstärke und der Anbringung von Luftabzugskanälen auf die Lunkerbildung. Med. Diss., Mainz 1968
7. Dygatz, P. : Der Einfluß der Gußapparate auf die Qualität des zahnärztlichen Gusses. Med. Diss., Mainz 1967
8. Uesajama, S. : Faktoren und Technik beim Präzisionsguß. Quintess. zahnärztl. Lit. 10 (H. 12) 25 (1959)

9. Knappwost, A. : Über thermische Expansions- und Kontraktionsverhalten von Dentallegierungen und Einbettmassen und deren Beziehung zur Sekundärkaries. Zahnärztl. Welt 4, 523 (1949)
10. Knipp, E. : Zitat bei Bartels, F. J. : Der Einfluß der Gußkanäle auf die Verteilung von Porositäten in zahnärztlichen Gußobjekten. Med. Diss., Erlangen 1969
11. Kyselova, J.,
Kysela, B.
und Mares, J. : Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und Möglichkeiten ihrer Beseitigung. Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1310 (1958)
12. Loebich, O. : Der Lunker und seine Vermeidung. Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1037 (1953)
13. Marx, H. : Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1228 (1967)
14. Meyers, R. E. und
Pfeiffer, K. R. : Effect of varying conditions on the time required to cast gold under air pressure. J. Amer. dent. Ass. 27, 530 (1940)
15. Phillips, R. W. : Studies on the density of castings as related to their position in the ring. J. Amer. dent. Ass. 35, 329 (1947)
16. Ryge, G.,
Kozak, G. F. und
Fairhurst, C. F. : Porosities in dental gold castings. J. Amer. dent. Ass. 54, 746 (1957)
17. Strauß, P. : Experimentelle Untersuchungen zu den Grundlagen des zahnärztlichen Präzisionsgusses. Med. Diss. Erlangen

18. Strickland, W. D. und Porosity in the full cast crown.
Sturdevant, C. M. : J. Amer. dent. Ass. 58, 69 (1959)
19. Taega, F. : Moderne zahnärztliche Gußverfahren.
Dtsch. Stomat. 3, 132 (1957)
20. Torfs, A. : Les cavites de retassure et de reture
dans nos coulees dentaires. J. dent.
belge, 49, 291 (1958)
21. Wetterstrom, E. T. : Eine Neuerung bei der Gestaltung der
Gußkanäle beim Ceramco - Guß.
Quintess. zahnärztl. Lit. 18 (H.2) 77
(1967)
22. Wetterstrom, E. T. : Demonstration des richtigen Anbringens
von Gußstiften. Quintess. zahnärztl.
Lit. 10 (H.9) 29 (1959)
23. Voss, R. : Zu speziellen Fragen der Gußtechnik.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1220 (1967)
24. Wagner, E. : Beitrag zum Präzisionsgußverfahren.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1215 (1967)
25. Weber, E. : Grundriß der biologischen Statistik.
Anwendungen der mathematischen Statistik
in Naturwissenschaft und Technik.
6. Auflage, Stuttgart 1967, S. 229-329
26. Weikart, P. : Werkstoffkunde für Zahnärzte.
München 1966, S. 133

Zu besonderem Dank bin ich Herrn Prof. Dr. H. Marx verpflichtet, der mir das Thema überließ und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.
Mein Dank gilt ebenso Herrn Dr. Scheidt, der mich bei der statistischen Ausführung der Arbeit hilfreich unterstützte.

LEBENS LAUF

Am 31. 5. 1945 wurde ich, Dieter Hagen Beck, als Sohn des Arztes Dr. med. Claus J. Beck und seiner Ehefrau Dr. med. Maria Beck, geb. Ebert, in Sandhorst (Ostfriesland) geboren.

In Darmstadt legte ich am 15. 2. 1966 an der Justus Liebig Schule meine Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1966 nahm ich mein Studium an der Johannes Gutenberg Universität in Mainz auf.

Nach einem Semester Biologie wechselte ich zur zahnheilkundlichen Fakultät über und bestand am 15. 12. 1971 mein zahnärztliches Staatsexamen.

Seitdem bin ich in Seligenstadt als Assistent tätig.

